

土石流潛勢溪流危害度評估 模式之研究

溫惠鈺* 許世孟** 趙啟宏*

摘 要

台灣因地理、地質及氣象之特殊條件容易導致土石流之發生，又因人口稠密使得住宅區臨近山坡地，以致土石流發生時易造成生命財產之大量損失，且善後之整治及後續處理問題亦造成政府單位與社會相當之負擔。行政院農業委員會水土保持局分別於民國 90 年及 92 年進行花蓮地區 160 條及全台 1420 條之土石流潛勢溪流優先處理順序等級評估，其評估因子僅以透過現地調查等定性式的描述，並無定量上的分析。為此，本文嘗試修訂水保局之評估方法，新納入以具有物理意義之分析模式，並能根據不同地形、地貌、地物分布及考量雨量之影響下所分析而得之定量描述成果—「集水區土砂產量」及「土石流災損金額」兩項因子，並綜合現地調查之定性描述與新加入之定量因子，制訂土石流潛勢溪流危害度評估模式；再以花蓮縣境內之土石流為例，驗證本文所制訂模式之適用性。利用本文所建議之模式進行土石流潛勢溪流危害度評估，其結果除可提供土石流防災單位對於執行土石流相關政策及資源運用時之考量依據，同時更可提供後續有效防災、救災與減災參考。

關鍵字：土石流、危害度評估模式

一、前 言

台灣因地理、地質及氣象之特殊條件容易導致土石流之發生，又因人口稠密使得住宅區臨近山坡地，以致土石流發生時易造成生命財產之大量損失，且善後之整治及後續處理問題亦造成政府單位與社會相當之負擔。以花蓮縣為例，民國 79 年 6 月歐菲莉颱風期間秀林鄉銅門村爆發之土石流，造成房舍全毀 24 間，半毀 11 間，29 人死亡、6 人失蹤之慘劇及重大經濟損失，此亦為上

世紀末台灣重大土石流災情之一。

行政院農業委員會水土保持局（以下簡稱水保局）於民國 90 年桃芝颱風過後，委託國立成功大學針對花蓮地區之土石流潛勢溪流進行其優先處理順序之評定，其評定方法係以（土石流發生度因子）×（保全對象危害度因子）取百分比，而土石流發生度因子有四項，分別為有效集水面積、集水區內岩體之岩性、通過集水區內之斷層長度及溪流上游之崩塌面積，各有其權重，相加後即為土石流發生度因子得分；保全對象危

* 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員

** 中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質調查組組長

害度因子有建物、交通及農作物三項，其各個因子之權重相加後，即為保全對象危害度因子得分。

於民國 92 年時，水保局又委託國立台灣大學對於台灣境內之 1420 條土石流潛勢溪流進行土石流優先處理順序等級評估，該法係以現地調查地形、地貌表徵來判定土石流潛勢優先處理順序，計算方法為（影響土石流發生危險等級之自然潛勢因子×50%）+（保全危害度因子×50%）。自然潛勢因子內含了崩塌規模、坡度、材料破碎、岩性及植生等五個因子，各有其權重，相加後即為自然潛勢因子得分；保全對象危害度除了考量建物及交通設施外，另外還考量現地整治設施之成效，將此三項因子之個別得分相加後，即為保全對象危害度得分。

上述方法係透過現地調查結果進行土石流優先處理順序之評估，已能於短時間內能迅速判別出某條土石流潛勢溪流之優先處理順序，可提供相關單位進行在防災整備時資源運用分配之參考。但由於現有之評估因子性質較屬於定性式的描述，尚缺少定量因子；故本文於引致土石流發生之自然環境潛勢部分，新納入「集水區土砂產量」因子，另於保全對象易受損度部分，新增「土石流災損金額」因子。本文藉由 BASINS 程式（美國環保署，2001）及 FLO-2D 程式（O'Brien, J.S., 2006），配合集水區之地文（地形）及水文（雨量）資料，以獲得新增之定量因子「集水區土砂產量」及「土石流災損金額」之計算結果。

本文重新綜合現地調查與利用 BASINS 及 FLO-2D 模式分析結果，制訂土石流潛勢溪流危害度評估模式，並以花蓮縣境內之 160 條土石流潛勢溪流為例，進行土石流潛勢溪流危害度評估，其評估結果除了可提供相關單位進行防災應變時之參考，亦可應用於未來治理工程資源分配時之決策參考依據。

二、引致土石流發生之自然環境潛勢因子

土石流發生的主要三個基本條件，即充足的降雨、豐富的土石材料與適當的溪流坡度，故本文據此擇訂引致土石流發生之自然環境潛在因子，分別以因子取得方式說明如下。

（一）現地調查資料而得（定性描述）

1. 坡度因子

適當的地形條件為引發土石流重要的條件之一，故本文將上游土石流發生區坡度區分為以下三個等級，分別為土石流發生區坡度大於 50 度、發生區坡度介於 30 度至 50 度之間，以及發生區坡度小於 30 度；坡度愈陡，則愈容易啟動土石流流動。

2. 崩塌規模

集水區內坡地崩塌之土石可提供成為土石流豐富的流動材料，因此依據現地調查區別相對於集水區面積之崩塌規模大小，可分為崩塌區塊明顯、崩塌規模較小及無明顯崩塌現象三個等級；崩塌規模愈大，則相對之土石堆積量亦較多。

3. 材料破碎及粒徑情形

土石材料的破碎及粒徑決定土石流動的速度與破壞程度，一般大粒徑之土石材料所造成之衝擊破壞也較嚴重。針對此一因子，將河道中之土石材料以平均粒徑區分成三個等級，分別為土石平均粒徑大於 3048mm、土石平均粒徑介於 762mm 至 3048mm 之間及土石平均粒徑小於 762mm。

4. 植生因子

植生的覆蓋良好可穩固坡面上之土砂，使其不至於成為發生土石流之材料來源。針對此一因子，將其區分為裸岩及落石堆積、植被稀疏、植被中等稀疏及植被密集四個等級。

(二) 模式分析而得 (定量計算)

1. 集水區土砂產量

集水區的土砂來源主要來自兩方面，一是降雨地表逕流造成坡地土壤沖蝕，另一方面是因降雨或其他外在擾動因素所引起之坡地崩塌；而後坡地土壤沖蝕及坡面崩塌透過土砂輸送機制，最後成為土石流集水區之土砂產量。本文採用美國環保署所開發之 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) 程式下之 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran) 模組進行土石流潛勢溪流集水區之土砂產量推估，該模組係結合了雨量、地形及土地利用資料，來進行集水區之逕流、土砂產量以及輸送過程模擬，其可進行非點狀來源 (如坡面土壤沖蝕) 及點狀來源 (如某一崩塌地) 之泥砂傳輸模擬。

本文以花蓮縣為例，分析花蓮縣境內 160 條土石流潛勢溪流於 50 年重現期距之單日降雨量下，各條土石流潛勢溪流集水區之土砂產量，並依土砂產量分布情形，將其區分為五個等級，分別為土砂產量大於 500,000m³、土砂產量介於 100,000 m³ 至 500,000m³ 之間、土砂產量介於 10,000 m³ 至 100,000m³ 之間、土砂產量介於 1m³ 至 10,000m³ 之間及小於 1m³；其值愈大，能提供成為土石流材料來源之機會也愈大。而分析雨量選用 50 年重現期距係依據水土保持技術規範 (2003) 中，對於治山防災構造物之設計洪水量為準，一般均採用 25~50 年之洪水頻率，於此以保守觀念採取 50 年重現期距雨量進行土砂產量推估。

上述五項因子中，因子一、四、五所表現者為土石流潛在發生可能性之高低，因子二、三則代表土石流發生之可能規模與衝擊力大小。而五項因子之配分方式，除了參考林美聆等 (2006) 所建議之方法，進行因子對於評估模式之敏感度測試外，還經由多次修正五項因子之配分，以最

後評分結果最能呈現趨於常態分布之趨勢為五項因子的配分方式，而得到最後的自然環境潛在因子配分，如表 1 所示，最高得分為 100 分，最低得分為 18 分。

表 1 自然環境潛在因子配分表

因子	分類	評分
崩塌規模	明顯大面積崩塌	25
	小規模崩塌	16
	無明顯崩塌	8
坡度因子	上游區坡度大於 50°	25
	上游區坡度介於 30°~50°	16
	上游區坡度小於 30°	8
材料破碎	平均粒徑大於 3048mm	20
	平均粒徑介於 3048mm~762mm	14
	平均粒徑小於 762mm	7
	無明顯堆積材料	1
植生因子	裸岩、落石堆積	10
	植被稀疏	6
	植被中等稀疏	3
	植被密集	1
集水區土砂產量 (m ³)	> 500,000	20
	100,000~500,000	15
	10,000~100,000	10
	1~10,000	5
	< 1	0
最高評分合計		100

自然環境潛在因子評分結果分布圖如圖 1 所示，由圖中可知其得分分布已趨近於常態分布曲線，而經過常態性測試之結果顯示 (如圖 2 所示)，其相關係數達 0.98，顯示本文所制訂之自然環境潛在因子評估模式評分結果合乎常態分布之意義。

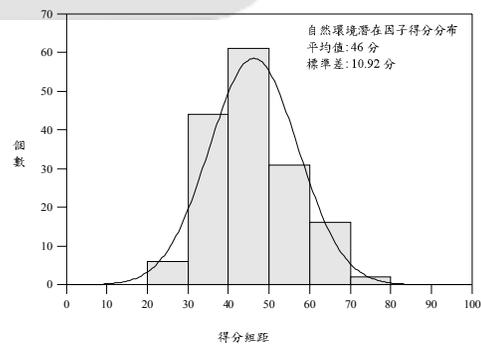


圖 1 自然環境潛在因子得分分布圖

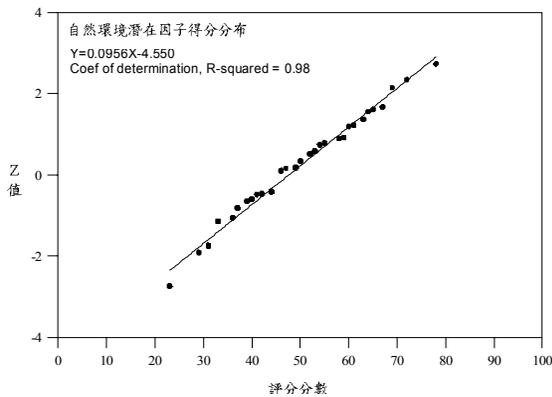


圖 2 自然環境潛在因子得分常態性 (Normality) 測試結果圖 (Z : Normal Scores)

三、保全對象易受損度因子

土石流潛勢溪流之保全對象愈多，當受到土石流災害侵襲時之災損金額也愈大，其易受損度也愈高。本文由現地調查得知土石流之保全對象型態，進而制訂保全對象易受損度因子，分別以因子取得方式說明如下。

(一) 現地調查資料而得 (定性描述)

1. 建物因子

因公共建築一般使用人數較多，或建物數愈多，其居住在內之人數也愈多，故受損度之評分等級最高，而建物因子內已隱含了保全人數之多寡。

2. 交通因子

以橋梁受損對交通之危害較高，故給予較高分數。

3. 現地整治成效因子

經歷多次災害後，已有不少土石流潛勢溪流進行整治設施工程，若整治設施成效良好，則可降低土石流潛勢溪流對保全對象之損害。

(二) 模式分析而得 (定量計算)

1. 土石流災損金額

本文採用 FLO-2D 災損計算模組，來進行土石流災損金額估算。FLO-2D 程式可進行降雨-逕流分析、土石流分析、風險圖製作及災損評估分析 (Garcia, R., Lopez, J.L, 2005 ; O'Brien, J.S., 2006)，近年來已有國、內外多位學者利用此一程式進行土石流之模擬研究。本文以花蓮縣之 160 條土石流潛勢溪流為例，利用 FLO-2D 程式所分析的土石流堆積範圍及堆積高度，套疊於土石流堆積影響範圍內遭到掩埋之土地及地上物 (包含建物、農作物、交通設施等) 分布，以 FLO-2D 災損計算模組分析得各條土石流潛勢溪流的土地及地上物損失之災損金額，分析得金額愈大，其受損度愈高。

綜上所述，保全對象危害度因子配分如表 2 所示，最低得分 5 分，最高得分 100 分。

表 2 保全對象易受損度因子配分表

因子	分類	評分
建物	公共建築 (學校、醫院及民眾聚集場所等)	30
	15 戶民宅以上	30
	5 戶至 15 戶間之民宅	20
	5 戶以下	10
	無住戶	0
交通	橋梁	20
	道路	10
	無	0
現地整治成效	待改進	20
	尚可	10
	良好或暫不需整治	5
災損金額	> 1000 萬	30
	500 萬~1000 萬	25
	150 萬~500 萬	20
	< 150 萬	10
	0	0
最高評分合計		100

保全對象易受損度因子評分結果分布圖如圖 3 所示，由圖中可知其得分分布已趨近於常態分布曲線，而經過常態性測試之結果顯示 (如圖 4 所示)，其相關係數達 0.99，顯示本計畫所制訂之保全對象危害度評估模式評分結果合乎常態分布之意義。

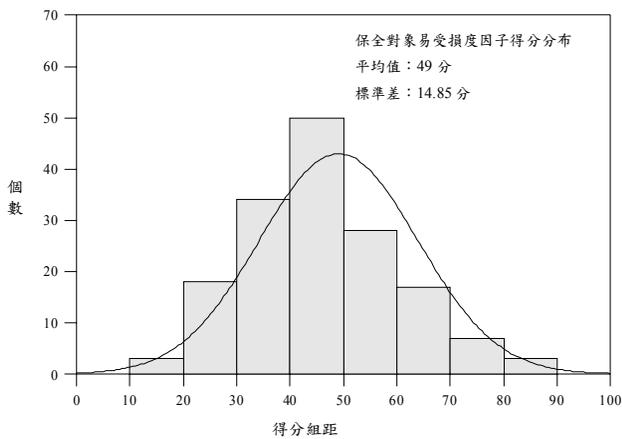


圖 3 保全對象易受損度因子得分分布圖

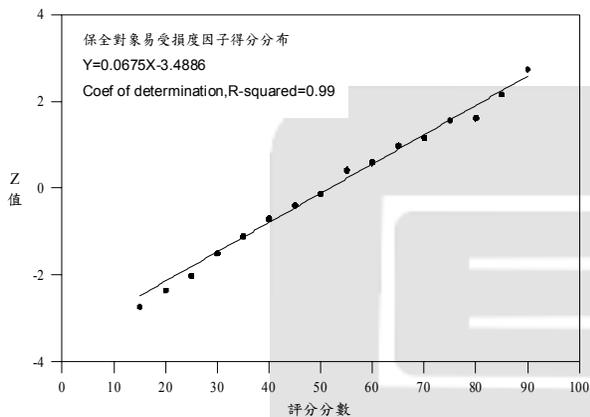


圖 4 保全對象易受損度得分常態性 (Normality) 測試結果圖 (Z : Normal Scores)

示), 其相關係數達 0.99, 顯示本計畫所制訂之土石流潛勢溪流危害度評估模式評分結果合乎常態分布之意義。

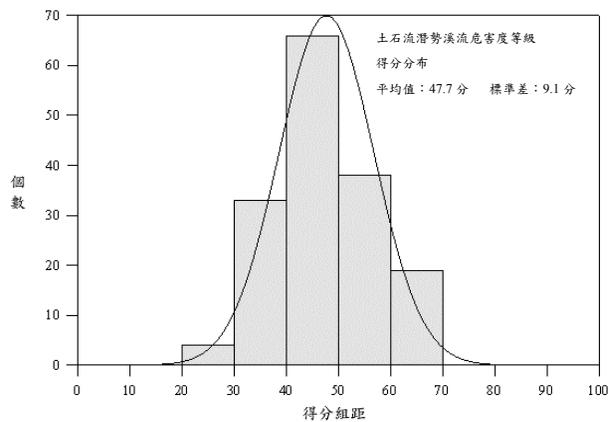


圖 5 土石流潛勢溪流危害度等級得分分布圖

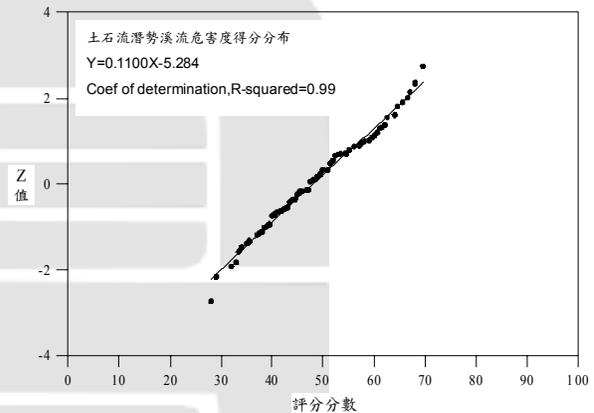


圖 6 土石流潛勢溪流危害度得分常態性 (Normality) 測試結果圖 (Z : Normal Scores)

四、土石流潛勢溪流危害度評估模式

綜合上述, 結合「引致土石流發生之自然環境潛在因子」及「保全對象易受損度因子」, 本文所擬訂之「土石流潛勢溪流危害度評估模式」為:

土石流潛勢溪流危害度等級 = (引致土石流發生之自然環境潛在因子 \times 50%) + (保全對象易受損度因子 \times 50%), 最低得分 11.5 分, 最高得分 100 分。

經由上式計算所得之得分分布圖如圖 5 所示, 而經過常態性測試之結果顯示 (如圖 6 所

花蓮縣境內 160 條土石流潛勢溪流之得分平均為 47.7 分, 標準差為 9.1 分, 本文參照水保局 (2003) 之方法, 取平均值加減 1 個標準差為土石流潛勢溪流危害度等級之上、下標, 亦即得分 38.6 分以下為低危害度, 38.7~56.8 分為中危害度, 56.9 分以上則為高危害度; 水保局 (2008) 所公告之 13 條持續觀察等級則不納入計算。而水保局之評分級距標準為 60.1 分以上為高優先處理順序, 40.1 分~60 分為中優先處理順序, 40 分以下為低優先處理順序。

五、評估結果與驗證

將本文評估所得之「土石流潛勢溪流危害度等級」與水保局（2008）所公布之「土石流潛勢溪流優先處理順序等級」之分級結果比對如表 3 所示。

表 3 本文之「土石流潛勢溪流危害度等級」分布與水保局（2008）公布之「土石流潛勢溪流優先處理等級」分布比較表

		本文危害度模式評估等級				合計
		高	中	低	持續觀察	
水保局 評估 等級	高	15	20	4	-	39
	中	13	62	8	-	83
	低	2	16	7	-	25
	持續觀察	-	-	-	13	13
	合計	30	98	19	13	160

由表中可知其評估結果不盡相同，其原因係因本文於自然潛勢部分加以考量土石流潛勢溪流集水區內之土砂產量，於保全對象易受損度部分加入災損評估結果，此兩個新納入之因子均屬以具有物理意義之分析模式，並根據不同的地形、地貌、地物分布及考量雨量之影響下所分析而得之定量描述成果，更能代表每條土石流潛勢溪流不同之特性。另外，水保局之評估是於民國 92 年所進行，近年來經過地形地貌之變遷，有新增崩塌地及植生復育良好的狀況，以及保全對象之新聚集或遷移，使得相同的因子在 92 年與本文評估結果不同，同樣會造成本文之評估結果與其所公布結果之差異。

另本文以位於花蓮縣光復鄉大興村之花蓮 061 土石流潛勢溪流進行模式之驗證。此條土石流潛勢溪流水區面積為 1182.2 公頃，於民國 90 年 7 月 30 日桃芝颱風時發生土石流，引發使得 150 萬立方公尺之土石下移，大量泥流傾瀉而下，釀成本地大興社區巨大災變；大興村全村 184 戶近 150 戶遭土石流掩埋，災情慘重之 6、7、8 鄰共 37 戶，其中 12 棟房屋悉遭吞噬，土石

淹沒面積達 50 公頃，並造成 27 人死亡、16 人失蹤、8 人受傷之慘劇。

此條土石流潛勢溪流經本文評估後（如表 4 所示）將其列為高危害度等級，較水保局原先評為中優先處理順序等級提高了一級，係因此條土石流潛勢溪流經分析後得到可能產出之土砂產量有六十二萬餘立方公尺，為「集水區土砂產量」因子中之最嚴重等級，並且若發生土石流災害，可能造成之災損金額達到五百餘萬，為「災損金額」因子中之次嚴重等級，故經本文評估後其屬於高危害度等級。

表 4 花蓮 061 之危害度模式評分表

因子項目	自然潛勢因子					保全易受損度因子			
	坡度因子	崩塌規模	材料破碎	植生因子	土砂產量	建物	交通設施	整治成效	災損金額
溪流現況	<30 度	大規模崩塌	>12"	植被密集	629,811	5 戶以下	橋梁道路	尚可	5,983,137
得分	8	25	20	1	20	10	20	10	25
總分	$(8+25+20+1+20) \times 50\% + (10+20+5+25) \times 50\% = 69.5$ ，高危害度								

而中興工程顧問社曾於民國 96 年進行花蓮 061 之現地調查，當時於花蓮 061 之整治工程-大興梳子壩後方並無明顯材料堆積，如圖 7 及圖 8 所示，但於民國 97 年鳳凰颱風過後，大興梳子壩後方之土砂堆積已淤積至二分之一以上之高（如圖 9 所示），明顯於集水區中有大量的土砂流出，所幸有大興梳子壩的阻擋，才未造成下游保全住戶的損害；但於此可以發現，本文將「集水區土砂產量」納入評估模式之因子中，更加能顯示其對於土石流潛勢溪流危害度評估之重要性。



圖 7 民國 96 年大興梳子壩後方（由側面往上游方向拍攝）



圖 8 民國 96 年大興梳子壩後方（由上游往下游方向拍攝）



圖 9 民國 97 年大興梳子壩後方（由側面方向拍攝，行政院農業委員會水土保持局花蓮分局提供）

綜上所述可知，本文重新建立之土石流潛勢溪流危害度評估模式能有效的評估出屬於高危害度之土石流潛勢溪流。

六、結 論

本文所建立之土石流潛勢溪流危害度評估模式，相較於過去多利用定性式的描述判定方法，新加入了以具有物理意義且能考量地形、地貌、

地物分布及雨量影響之分析模式，分析而得之「土石流集水區土砂產量」及「土石流災損金額評估」兩項定量的因子，而分析結果相較於目前水保局所公布之土石流潛勢溪流優先處理等級，更能有效的評估出於某地區內具有高危害度之土石流潛勢溪流，評估結果亦能提供土石流防災單位進行防救災工作之資源分配參考。而近年來隨著全球氣候變遷，使得台灣的水文、地文特性也迅速的變動，故實有持續更新土石流潛勢溪流集水區基本資料之必要，如此不但能掌握到土石流潛勢溪流危害度最新狀態，更能使防災工作達到事半功倍的效果，降低土石流對保全居民所造成的損害。

參考文獻

- 國立成功大學（2001）桃芝颱風災區土石流災害潛勢分析成果報告，行政院農業委員會水土保持局
- 國立台灣大學（2003）土石流潛勢溪流後續調查與演變趨勢觀測成果報告，行政院農業委員會水土保持局
- 水土保持技術規範（2003）行政院農業委員會水土保持
- 李振裕（2004）流域水砂生產及輸送模式之研究，碩士論文，國立成功大學水利暨海洋工程研究所
- 林美聆、溫惠鈺（2006）土石流潛勢溪流潛勢分析與處理優先順序評估，地工技術，第 110 期，第 35-44 頁
- 李欣輯（2006）土石流防災方法成本效益評估方法之研究，博士論文，國立台灣大學土木工程學研究所
- 中興工程顧問社（2008）花蓮集水區土砂影響範圍及災損評估分析成果報告，行政院農業委員會水土保持局花蓮分局
- 行政院農業委員會水土保持局網頁（2008）
<http://www.swcb.gov.tw/>
- United States Environmental Protection Agency (2001) BASINS Version3.0 User's Manual
- Brian R. B., John C. I., John L. K., Thomas H. J., Anthony S. D. (2001) HSPF Version 12 User's Manual, United States Environmental Protection Agency
- Garcia, R. & Lopez, J. L. (2005) Debris Flows of December 1999 in Venezuela Chapter 20th of Debris-flow Hazards and Related Phenomena Jakob, Matthias, Hungr, Oldrich Eds. Springer Verlag Praxis, Berlin
- O'Brien, J. S. (2006) FLO-2D Mapper Manual Version